

音響トモグラフィー探査を用いた岩盤の 鋼管矢板根入基面評価

谷地 宣之¹・植田 康宏²

¹大成建設（株）関西支店（〒611-0021 京都府宇治市宇治金井戸 15-4
大成建設（株）天ヶ瀬ダム放流設備建設工事作業所）

²（株）地域地盤環境研究所（〒550-0012 大阪市西区立売堀 4 丁目 3 番 2 号）

天ヶ瀬ダム再開発トンネル放流設備建設工事のうち、本工事は呑み口側にあたる流入部・前庭部を施工するものである。流入部は鋼管矢板で締切り、トンネルが接続するための立坑を掘削するものであり、前庭部はそのトンネルへの放流水を受け入れるため鋼管矢板で仕切り、その底盤にコンクリートを打設して水路を確保するものである。本稿では、前庭部における鋼管矢板工法に対して根入れ長を決定する際に重要となる連続的（面的）な施工基面（岩盤線）の推定を目的に、鋼管矢板打設位置の4隅に置いて実施された調査ボーリング孔を探查孔として利用した音響トモグラフィー探査結果について報告するものである。

キーワード 鋼管矢板、根入れ長、施工基面、物理探査、音響トモグラフィー探査、可視化

1. はじめに

京都府宇治市に位置する天ヶ瀬ダムのトンネル再開発工事のうち、流入部建設工事において鋼管矢板工の計画、施工を行っている。当該工事のうち、前庭部と呼ばれる土砂侵入防止部は、事前調査のボーリングデータが不足していることから、地層確認のために鋼管矢板打設位置の4隅において追加の調査ボーリングを行った。しかし、調査ボーリングで得られる結果はあくまでも点のデータであるため、当該調査地のように岩盤が傾斜し褶曲している場合は、ボーリング孔間で鋼管矢板の根入れ長の決定に必要な施工基面（岩盤線）を特定することは困難であった。そこで、探查断面内において連続的に岩盤線を推定できる音響トモグラフィー探査¹⁾²⁾を用いて、施工基面の特定を行うことを試みた。本稿はその結果について報告するものである。



写真-1 天ヶ瀬ダム放流設備再開発工事

2. 工事概要及び地盤概要

写真-1、図-1に示すように、本工事はトンネル放流設備のうち最上流の流入部（呑み口部）工事であり、立坑部の流入部と土砂侵入防止部の前庭部からなる。流入部は鋼管矢板で締切り（内径28m）、鋼管矢板内を掘削し、トンネルが接続される立坑が構築される。一方、前庭部（21.3m×17.8m）は自立式鋼管矢板で仕切り、トンネルへの放流水が流れ込む際の土砂の流入を防止するものである。

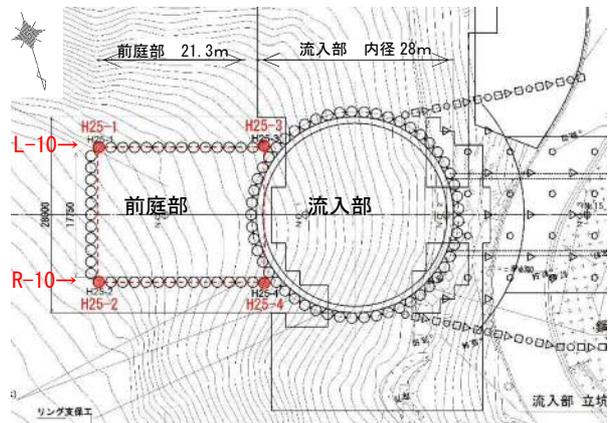


図-1 工事概要平面図（前庭部と流入部）

当該地の地層構成は、中・古生代の泥岩を主体として、これに砂岩、チャート、緑色岩の小規模なクラストを含むとともにひん岩岩脈の貫入が見られる岩盤であり、亀裂や破碎帯が多く発達している。周辺の調査結果からも、当該地の地質構造は概ね走向NW-SE方向で、傾斜は急角度の南落ちを示す。

図-2 に L-10 断面での事前調査による想定地質断面図を示す。当初は前庭部中央の 1 箇所ではしか調査ボーリング行われておらず、流入部側のボーリングデータ等から推測した地層縦断面図を基に鋼管矢板が設計されていた。しかし、その不確かさが大きいこと、自立式矢板のため根入れ長基面 (CL 級岩盤線) の評価が重要であることから前庭部の 4 隅に追加のボーリング調査を行った。この結果をもとに、当初の想定地質縦断面図を修正した L-10 断面の結果を図-3 に示す。ところが、4 か所のボーリング調査結果をもってしても、根入れ長基面の高さ等を一義的に特定することはできず、その不確かさを排除できる結果ではなかった。そこで、各ボーリング孔間 (4 断面) において音響トモグラフィ探査を実施した。

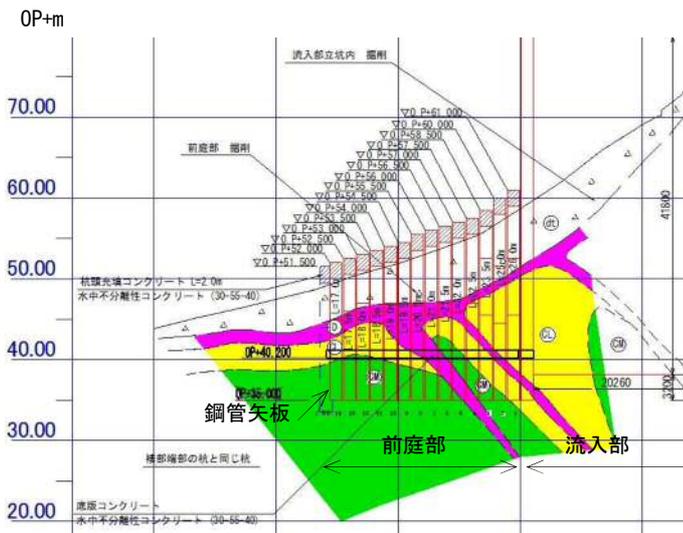


図-2 既存の想定地質縦断面図 (L-10 断面)

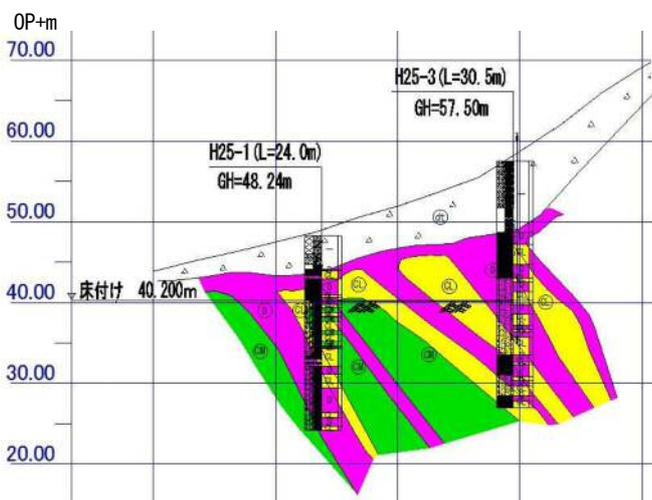


図-3 修正された想定地質縦断面図 (L-10 断面)

3. 音響トモグラフィ探査の原理

音響トモグラフィ探査の計測概念図を図-4 に示す。音響トモグラフィ探査は、孔内発振器と多連受信器を 2 つの孔に配置して、この孔間の地盤情報を可視化する技術である。本手法は、超音波と地震波の中間の周波数帯域である音響波 (数 100Hz~数 10kHz) を用い、かつ連続波の一種である疑似ランダム波を用いることで、ボーリングに近い精度を維持しつつ従来の弾性波探査と同等の探査距離を可能にしている (図-5 参照)。図-6 は探査に用いる疑似ランダム波の一例で、(a) 図は発振波、(b) 図は受信波、(c) 図は発振波と受信波の相関計算を行った後の波形で、これより、到達時間と受信振幅が決定される。

探査は、受信器を所定の深度に設置し、発振器を任意のピッチで移動させていくことにより、音波の走査線が対象断面全体を切るように計測を行う。この時の各深度における到達時間とその振幅データから逆計算により、地盤の状態 (固さや開口の有無等) を解析するものである。

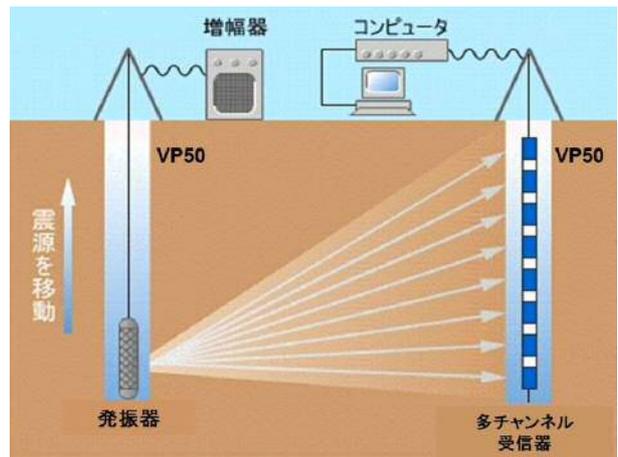


図-4 音響トモグラフィ探査概念図

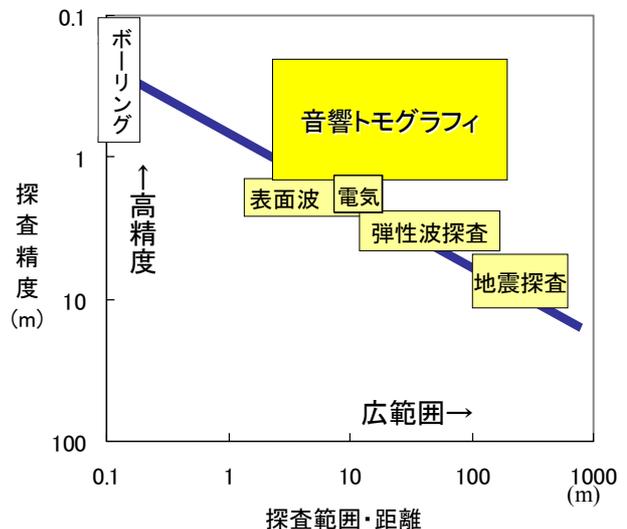


図-5 各種探査法における精度と範囲の比較

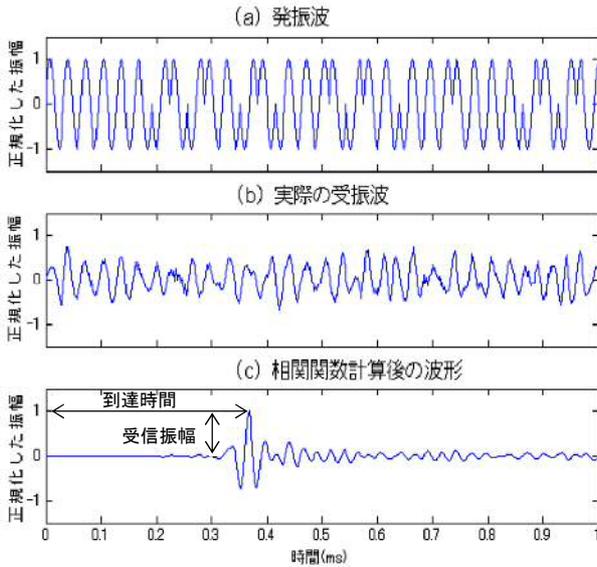


図-6 疑似ランダム波と相関計算後の波形

4. 音響トモグラフィ探査結果に基づく基盤面の決定

探査結果に基づく根入れ長基面（工学的基盤面）の決定方法、および当該地での速度値や減衰率に基づく岩盤の評価方法・留意点について説明する。

(1) 決定方法

音響トモグラフィ探査結果に基づく工学的基盤面は、以下の手順で決定した（図-7 参照）。

- ①速度分布とボーリング調査結果による地層状況を比較し、各断面において工学的基盤面に対応する速度値を判断する。
- ②速度値や減衰率の細部における変化等を考慮して探査断面内の地盤状況を詳細に検討する。

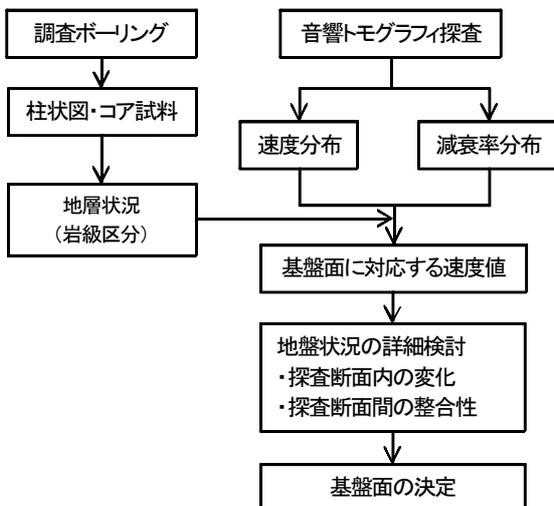


図-7 工学的基盤面の決定方法

- ③各断面で推定した工学的基盤面の位置をもとに、断面間の整合性を検討する。
- ④①～③の手順を繰返し、工学的基盤面を決定する。

(2) 速度分布と減衰率分布

本調査地の地盤は、前述したように亀裂や破碎帯が多く発達している。このような地盤状況において、泥岩・頁岩は劈開面に沿って角礫状に剥離する性質をもつため、ボーリングコアの状態では容易に角礫状を呈すことになる。しかし、応力解放前の地盤内の状態では、潜在的な亀裂が密着した状態で、弾性波速度の低下はほとんど生じない。また、異方性を持つ成層構造であるため測定断面方向と片理方向の関係で計測される速度値が大きく異なることもある。一方、減衰率は岩盤内の不均一性、特に亀裂性状の影響が反映されやすく、不連続面の間隔や粗度、充填物の有無や種類によって減衰率特性は様々に変化する。また、岩石種の相違による固結度・密度の差異やそれらの接面での減衰も生じる。一般に速度と減衰の組み合わせで、地盤状況は以下のように判定できる。

- ①高速度＋高減衰：硬質の岩石が分布し、密着性の悪い亀裂が多いゾーン
- ②高速度＋低減衰：硬質の岩石で亀裂が少ないか、亀裂があっても非常に密着性が良いゾーン
- ③低速度＋高減衰：軟質の岩石が分布し、充填物を含んだ密着性の良くない亀裂が多いゾーン
- ④低速度＋低減衰：軟質の岩石で亀裂は少ないか、亀裂があっても非常に密着性の良いゾーン

(3) 速度の異方性

頁岩、砂岩、チャート等の互層は全般に層状の構造を示し、異方性がある。さらに、結晶片岩は片理面により異方性が顕著である。このような岩盤で弾性波探査を行った場合、地層走向方向の測線では速度が相対的に速く、走向に直行する方向では速度が遅くなる傾向が知られている。

本調査地においては、地質構造はN20～60° W, 50～80° Sとなっており、局所的に微褶曲が見られ、走向の変化が激しいことがわかっている。このため、今回実施した探査の測線と現地の地層走向とは様々な角度で交わり、結果として同じ岩種、同程度の岩盤等級であっても速度値が変化することは十分予想される。

5. 原位置調査

本調査では、図-1に示す4断面で探査を行ったが、そのうちの代表断面として、L-10測線における探査計画図を図-8に示す。探査孔は、所定の深度まで塩ビパイプを挿入し、水中部分は湖底から地山中に2m

程度打ち込んだケーシングパイプで保護した。写真-2~6は現地での探査状況および使用機材等を示す。

各測線とも、GL-2m~孔底を探査範囲とし、発振器側を50cmピッチで移動させて計測した。特に施工基面付近では25cmピッチとして対象断面を切る走査線を増やすことでより精度の高いデータを収集することとした。

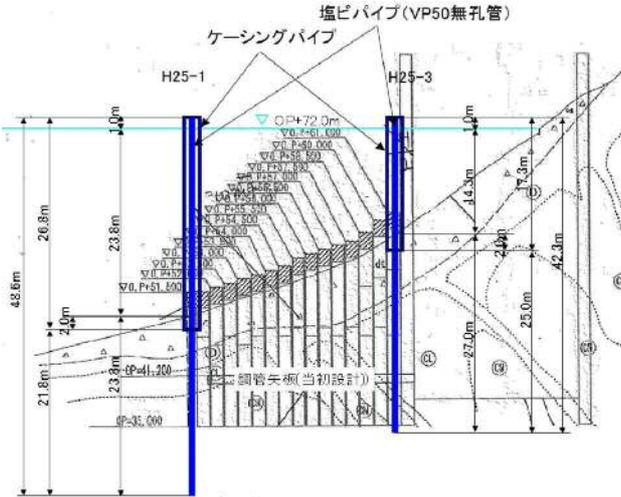


図-8 探査計画図 (L-10 測線)

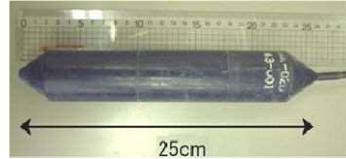


写真-4 発振器



写真-5 探査状況 (受信孔)



写真-2 探査状況 (計測システム)



写真-6 受信器



写真-3 探査状況 (発振孔)

6. 工学的基盤面の推定

図-9に、L-10断面の音響トモグラフィによる速度分布、および図-7の手順で特定した工学的基盤面(根入れ長基面)を示す。

音響トモグラフィ探査では、図-2もしくは図-3に示すような急角度の傾斜構造を持つ地層に対しては、その地質構造を速度分布でもって再現することができず、結果は探査方向に対して平均的な速度分布となっていることが分かる。

図-9の工学的基盤面(根入れ長基面)は、得られた速度分布図と柱状図との対比から基盤面に対応する速度値を設定し、断面内や隣接断面との整合性を考慮して決定したものである。図において、工学的基盤面に対応する速度値は3.18km/sであった。

なお、H25-3側のOP+40~45mとOP+35m付近に低速領域がみられるが、前者については安全側を考

慮して工学的基盤面を下方のラインに設定した。後者については局所的に挟在するもので広がりを持った分布はないと判断した。一方、本調査で得られた減衰率は、全測線において0.1dB/kHz/m以下とかなり小さい値であった。これは、当該地盤は亀裂が少ないかもしくは亀裂があっても地山内では非常に密着性がよい状態にあると推定される。

図-10 に、ボーリング調査による想定地質断面図に、音響トモグラフィ探査によって得られた工学的基盤面（赤実線）を併記した。当初設計では既存のボーリング調査結果で推定された岩盤線をもとに床付け面（青実線）を基盤面として、それを基準に鋼管矢板の根入れ長が決定されていたが、音響トモグラフィ探査の結果ではH25-1側で基盤面が床付け面より下がっていることが判明したために、図の赤線を基盤面として鋼管矢板の根入れ長を再計算した。

図-11 に、今回実施した音響トモグラフィ探査に

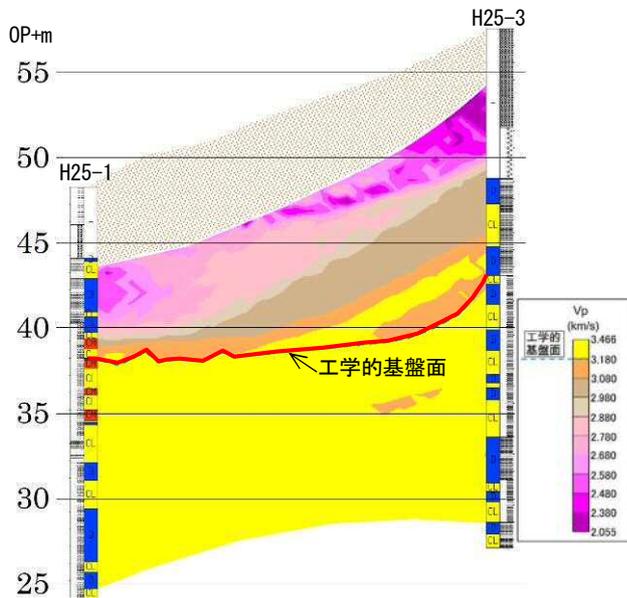


図-9 速度値に基づく想定基盤面図 (L-10 断面)

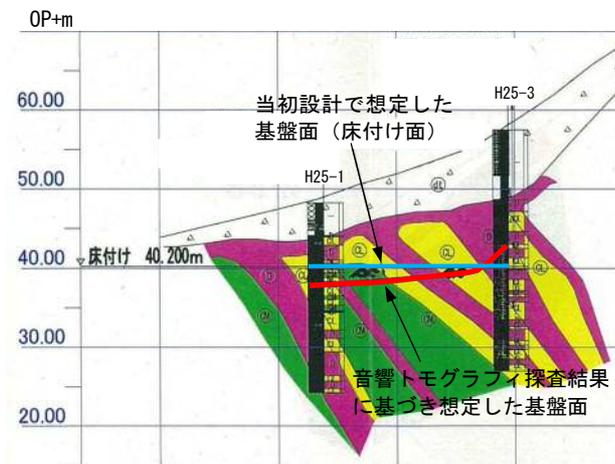


図-10 工学的基盤面の比較

基づく工学的基盤面（赤実線）と、計画されている床付け面（青実線）および鋼管矢板下端（緑実線）の位置関係を三次元的に図示した。

当該地のように急角度の傾斜構造を持つ地層に対しては、図-2, 3 に示すような地質構造区分を音響トモグラフィ探査で求めることはできなかったが、本調査の目的である鋼管矢板根入れ長設計のための基盤面を決定することは十分可能であることが分かった。

7. おわりに

本調査では、前庭部におけるボーリング調査孔を利用して音響トモグラフィ探査を実施した。探査の結果、ボーリング調査では得られない地盤の面的情報（連続的な岩盤線）をもとに、鋼管矢板の根入れ長基面の位置を想定できた。今後、このように複雑な地層構成を示す地盤に対して、施工基面を決定する際の有効な手法として音響トモグラフィ探査が活用できるものとする。

参考文献

- 1) 榊原淳一：音響トモグラフィを用いた新しい地盤評価技術、基礎工、Vol. 33、No. 9、pp. 81～83、2005。
- 2) 山内淑人・譽田孝宏・榊原淳一・吉塚守・睦角英夫：音響トモグラフィを用いたトンネル施工地盤詳細評価、土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集、pp. 551～552、2008。

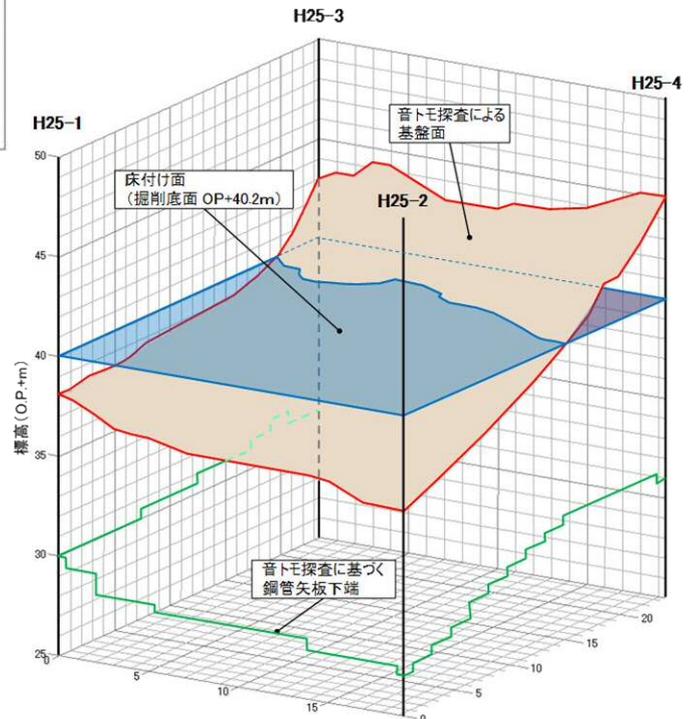


図-11 音響トモグラフィ探査に基づく工学的基盤面と鋼管矢板下端位置